

우량계 개발과 측정 오차

김 대 원 · 이 부 용
대구가톨릭대학교 환경과학과
(2002년 8월 2일 접수; 2002년 10월 9일 채택)

Development of Rain Gauge and Observation Error

Dae-Won Kim and Bu-Yong Lee

Dept. of Environmental Science, Catholic University of Daegu, Gyongsan 712-702, Korea
(Manuscript received 2 August, 2002; accepted 9 October, 2002)

A new method of automatic recording rain gauge is developed to measure rainfall 1200mm full scale with high accuracy and resolution. The principle of new instrument is to detect a weight change of a buoyant weight according to a change in water level of rain gauge measured by the use of a strain gauge load cell.

This method has the advantage of increasing measurement accuracy, since no moving equipment is used. Laboratory test of the instrument was recorded 0.4% error of 190mm rainfall amount.

The validity of new instrument was examined by comparing its measured values with values recorded by automatic weather station on June 24 to 25 2001 at Daegu Meteorological Station, when there is 148.3mm rainfall amount. In spite of much rainfall there is only 0.77mm difference of total rainfall amount. This instrument was accomplished high accuracy and resolution at field test in much rainy day.

Key word : Automatic recording rain gauge, Measurement accuracy

1. 서 론

우리나라는 연평균 강수량은 1,274 mm로 비교적 풍부한 편이라고 할 수 있으나, 계절별 강수 편차가 심하며, 우리나라 전체 강수량의 약 2/3가 여름철(6월~9월)에 내리고, 유역별 년 평균 강수량의 변동 양상은 섬진강 유역이 1,416 mm로 가장 많고 다음이 영산강(1,320 mm), 금강(1,268 mm), 한강(1,287 mm) 및 낙동강(1,167 mm)의 순이며, 평균강수량은 1,274 mm이다.¹⁾ 세계평균강수량(973 mm) 보다 1.3 배정도 더 많다. 그러나 국민 1인당 사용 가능한 수 자원 량을 생각하면 문제는 더욱 심각하다. 우리나라의 이용 가능한 수자원 양을 국민 한 사람 당으로 환산할 경우, 1990년에 1,452 m³로 우리나라는 물 부족국가에 해당하여 강우의 정밀측정이 요구되고 있다.²⁾

과거 강수량을 객관적으로 측정할 수 있었던 최

초의 장비는 1441년 세종대왕 때 발명된 측우기다. 그리고 이 장비를 이용하여 세계 최초로 전국적인 관측 망을 구성하여 관측한 기록이 있으며,³⁾ 현재는 다양한 형태와 측정원리의 관측장비들이 우량관 측에 사용되고 있다.

그리고 이들 우량계들 중 0.1~0.5 mm급 전도형 우량계가 자동 관측용으로 가장 많이 사용되고 있다. 그 이유는 구조가 아주 간단하며, 가격도 저렴하고, 측정에 사용되는 신호가 전기접점으로 자동 관측이 아주 용이하다는 점 때문이다.⁴⁾ 하지만 겨울에는 부속장치를 달아 사용하여야 하는 불편한 점도 있다.

강수량을 0.1 mm 이하로 정밀하게 측정해야 하는 이유로는 레이더나 위성을 통한 상대적인 강수량 측정 결과와 모델에서 계산된 강수량 자료에 대해서 정확한 지상관측 자료를 제공할 필요성이 있기 때문이며, 고주파통신분야에서 통화품질에 가장 악 영향을 미치는 것은 순간적으로 강하게 내리는 비인데 강우에 의한 정확한 전파 감쇠량을 기준으로 전파통신출력을 설계하는데 1분 강우량이나 그 이하의 강우측정 자료가 필요하다.⁵⁾ 또한 물 부족 국

Corresponding Author : Bu-Yong Lee, Dept. of Environmental Science, Catholic University of Daegu, Gyeongbuk 712-702, Korea
Phone : +82-53-850-3249
E-mail : bylee@cataegu.ac.kr

가로 분류된 우리나라에서 인공증우 실험시 인공증우량이 매우 적기 때문에 지상관측을 통한 정확한 강우 자료의 제공은 꼭 필요한 연구분야이다.

본 연구에서는 이부용(1999) Lee Type 우량계의 관측방법을 수동관측에서 개선하여 Data logger를 이용한 자동관측을 하였으며, 최대측정범위도 200 mm 에서 현업에 활용이 가능한 1,200 mm 범위까지 확대하였다. 대구기상대 노장에서 비교 관측을 통하여 현업에 적용 가능성을 알아보았으며, 1분 단위로 강우량을 측정하여 강우강도계로 활용가능성을 알아보았다.

본 연구에서는 편이상 대구기상대 전도형 우량계(Tipping bucket rain gauge)의 자료는 Daegu Obs., Lee Type rain gauge는 Lee Type이라고 하겠다.

2. 측정원리와 검정 결과

2.1. 강우의 물리량

Table 1은 강우에 따른 물의 부피와 무게의 물리량을 나타내었다. 강우의 밀도를 1g/cm^3 으로 가정하였을 때 강우량 100 mm를 부피로 환산하면 3140 ml가 되며, 무게로는 3140 g이 된다. 그리고 WMO의 권고치 0.1 mm의 강우는 3.14 g 또는 3.14 ml가 된다. 따라서 0.1 mm의 강우량을 측정할 경우 측정 분해능 중 부피 분해능은 3.14 ml, 무게 분해능은 3.14 g 이하가 되어야만 가능하다.⁴⁾

2.2. 장비의 측정원리

측정 방법으로는 부피와 무게의 변화로써 우량을 측정하고 있다. 강우량은 단위면적에 떨어지는 비의 양을 측정하는 것으로 표준형 우량계의 수수기 직경은 20 cm로 단 면적은 314cm^2 이다. 그리고 전도형 우량계의 경우에는 무게에 의한 방법을 사용하고, 저수형의 경우 부피, 사이핀형우량계의 경우에는 수위를 측정하고 있다.

기존 사용하고 있는 전도형 우량계의 측정원리는 강우의 무게에 의한 전도 되는 좌·우 전도 운동으로 마그네틱 스위치의 전접 횟수로 강우량을 측정

하고 있다. 이러한 측정원리는 강우의 강도가 증가할 경우 측정값에 대한 정확도가 계속적으로 낮아지는 것으로 밝혀져 있다.⁶⁾

본 연구에서는 기존의 문제점을 개선하는 방안으로 부력추의 원리를 응용하였다.⁷⁾ 부력추는 직경 40 mm, 길이 300 mm 크기의 원통형이며, 그 소재는 나일론이다. 물 속에 잠겨 있는 부력추는 잠겨 있는 부피만큼의 부력을 받아 무게 감소가 일어나는 아르키메데스의 원리를 이용한 것으로 수위 변화에 따른 부력추 무게 변화를 수위로 환산하여 측정하는 방식을 이용하였다. 그리고 그 부력추의 무게 변화를 측정하는 데는 신뢰성이 입증된 스트레인게이지식 로드셀을 이용하였다.⁸⁾

수위 변화에 따른 부력추 무게 변화량을 측정할 경우, 수면에 요동이 있으면 측정에 오차가 발생할 수 있다. 이러한 오차를 최소화하기 위한 방법으로 수면파가 부력추에 직접 영향을 주지 않게 직경 100 mm 스텐파이프를 설치하고 그 내부에 본 연구에서 개발된 우량 측정 메커니즘을 설치하였으며, 오차를 줄이는 또 다른 방법으로 매 초마다 측정하는 수위 값 10개를 이동 평균하여 수위를 산출하였으며, 매 1분마다 이 수위 값을 다시 평균하여 우량값을 구하였다.

2.3. 장비의 구조

Fig. 1은 본 연구에서 사용된 우량계의 구조를 나타내었으며, 재질은 부식성이 없는 Stainless steel 재질이며, 수수기의 직경 20 cm, Rainfall tank 직경 42 cm, 높이 61 cm이다. 그리고 부력추는 직경 40 mm, 길이 300 mm 크기의 원통형이며 부력추와 로

Table 1. Weight and volume of water according to rainfall amount

Rainfall(mm)	Weight(g)	Volume(ml)
100	3140	3140
10	314	314
1	31.4	31.4
0.1	3.14	3.14
0.01	0.314	0.314

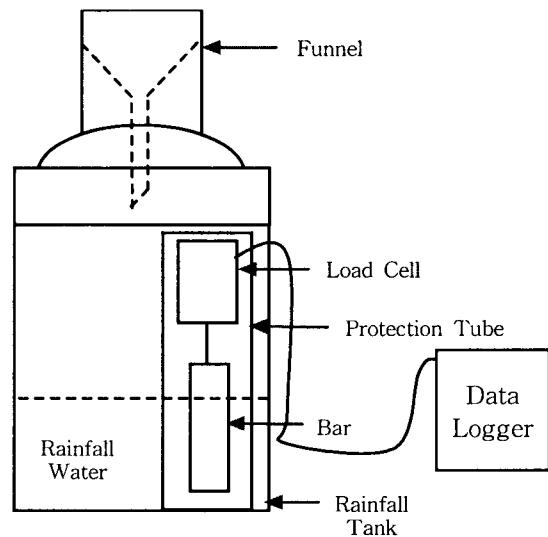


Fig. 1. Lee Type Rain gauge Schematic drawing.

드셀을 보호하기 위하여 직경 100 mm의 스텐파이프 속에 Lee Type 메커니즘을 설치하였다.

제작된 수위 측정 센서의 성능을 알아보기 위해 직경 42cm의 스텐통에 일정량의 물을 부어 계산된 단 면적에 따른 수위상승을 계산한 이론적인 수위 값에 측정 센서에서 나오는 출력신호의 값으로 수위에 대한 실험실 검정을 실시하였다. 일정량의 물에 대한 부피측정이 어려워 카스사의 MW1200 전자저울을 이용하여 물의 무게를 측정하여 스텐통에 부었다.

1회 투입한 일정량의 물 무게는 1 Kg 전후로 약 7.30 mm~7.33 mm 수위에 해당하였다. 우량계로서의 사용 특성을 알아보기 위하여 수위변화 190 mm에 해당하는 구간에 대해 검정을 실시한 검정결과를 Table 2에 나타내었다. 전체 수위 190 mm에 대해 0.72 mm로 0.4 %에 해당하는 아주 작은 오차만을 나타내었다.

수위의 참값에 대한 누적오차를 구해보면 검정

Table 2. Test data of Lee Type rain gauge

NO	True depth (mm)	Measured depth (mm)	Difference (mm)
1	7.36	7.33	-0.03
2	14.66	14.66	0.00
3	21.91	21.97	0.06
4	29.15	29.29	0.14
5	36.42	36.60	0.18
6	43.76	43.90	0.14
7	51.06	51.23	0.17
8	58.36	58.54	0.18
9	65.63	65.86	0.23
10	72.91	73.17	0.26
11	80.15	80.47	0.32
12	87.48	87.79	0.31
13	94.79	95.09	0.30
14	102.03	102.40	0.37
15	109.33	109.73	0.40
16	123.88	124.36	0.48
17	131.18	131.68	0.50
18	138.45	139.00	0.55
19	145.78	146.32	0.54
20	153.12	153.65	0.53
21	160.39	160.97	0.58
22	167.69	168.29	0.60
23	174.99	175.60	0.61
24	182.21	182.90	0.69
25	189.51	190.23	0.72

25회 중 최대 오차는 0.09 mm로 1회 강우량 7.3 mm에 대해 1.2%에 해당하는 아주 작은 오차 값으로 현업용 우량계로 사용함에 있어서 문제점이 없는 것으로 밝혀졌다.

3. 비교관측

비교관측은 2001년 6월 23일부터 6월 30일까지 대구기상대(대구광역시 동구 신암 1동 716-1)노장에서 전도형 현업우량계와 비교관측을 하였다. 측정방법은 매분 수위를 측정하여 강우량으로 환산하였으며, 강우가 연속적으로 내린 6월 24일 00:00시부터 6월 25일 06시까지의 데이터를 가지고 대구기상대 노장에 설치된 전도형 우량계 자료와 비교관측을 실시하였다.

자료 기록에는 CAMPBELL사의 CR10X data logger를 사용하였다. Table 3에서 대구기상대의 강우측정값은 일기상 통계표에 제공된 강우량 값이며, Lee Type우량계는 본 연구에서 제작된 우량계의 강우측정값이다.

표에서 Difference는 Daegu Obs.의 강우측정 값에서 Lee Type 강우측정 값의 차이를 나타낸 것이며, 전체 강우량을 비교하여 보면 Daegu Obs.는 148.3 mm, Lee Type는 147.53 mm로 Daegu Obs.보다 0.77 mm 적게 관측되었다.

강우가 내리기 시작한 시각은 24일 01:00부터이며, 05:00부터 강우량이 증가하기 시작하여 10:00에 시간당 10 mm를 기록하다가 다시 강우량은 감소하였다.

17:00부터 소강상태를 보이다가, 21:00부터 25일 03:00까지 시간당 최대 22.5 mm의 많은 강우량을 기록하다가 06:00에 강우가 그쳤다.

Daegu Obs. 강우량과 Lee Type 강우량을 비교

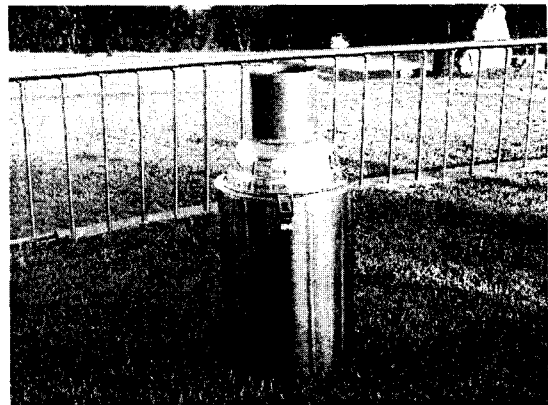


Fig. 2. Lee Type Rain gauge at Daegu Meteorological Station.

Table 3. Comparison of hourly rainfall between Daegu Obs. and Lee Type.

Observation period 2001(10.24~10.25)	Daegu Obs. (mm)	Lee Type (mm)	Difference (mm)
01:00	0.0	0.27	-0.27
02:00	0.3	0.65	-0.35
03:00	0.3	0.61	-0.31
04:00	0.4	0.96	-0.56
05:00	0.5	0.62	-0.12
06:00	1.7	2.26	-0.56
07:00	2.5	2.77	-0.27
08:00	3.4	3.41	-0.01
09:00	6.5	6.19	0.31
10:00	10.0	9.97	0.03
11:00	5.5	5.91	-0.41
12:00	3.5	3.45	0.05
13:00	2.5	1.30	1.20
14:00	4.5	4.54	-0.04
15:00	6.0	5.41	0.59
16:00	3.5	2.99	0.51
17:00	4.5	3.74	0.76
18:00	0.5	0.79	-0.29
19:00	0.5	0.68	-0.18
20:00	0.5	0.63	-0.13
21:00	0.5	0.26	0.24
22:00	19.0	18.29	0.71
23:00	1.0	0.93	0.07
24:00	12.0	10.84	1.16
01:00	9.7	10.81	-1.11
02:00	18.0	17.50	0.50
03:00	22.5	22.92	-0.42
04:00	7.5	7.55	-0.05
05:00	1.0	0.99	0.01
06:00	0.0	0.29	-0.29
Total (mm)	148.3	147.53	0.77

해 보면, 24일 01:00에서는 Daegu Obs.는 강우가 측정되지 않았으나 Lee Type에서는 0.27 mm가 내린 것으로 기록되었다.

전도형 우량계의 경우 강우가 약할 때나 수수구의 철망에 강우가 포획되는 경우 일정 양까지는 감지를 못하거나 이전에 내린 강수와 함께 측정을 하는 반면 Lee Type 우량계는 수수구에 철망을 설치할 필요가 없는 부력 측정 구조여서 0.1 mm의 강우가 측정된 것으로 생각된다.

Fig. 3은 강우의 누적 그래프를 그린 것이다. 누적 값에서 초기 강우는 Lee Type이 많이 관측을

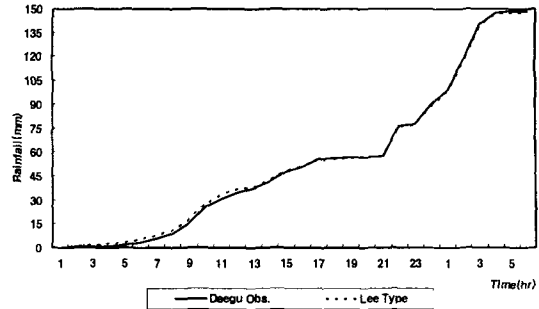


Fig. 3. Accumulated rainfall of Daegu Obs. and Lee Type during 24 ~ 25 June, 2001.

하였다가 이후 두 강우량이 거의 같았다. 그리고 측정값들이 서로 교차하고 있으며, 오차 또한 증가하지 않고 있어 Lee Type이 정확하게 자동관측을 하고 있음을 알 수 있다. 이러한 경향성에 의해 나타난 오차 값은 무시할 정도로 작은 값이지만 계속적인 연구로 오차의 범위를 더 줄일 필요성이 있다고 판단된다.

4. 결과 및 고찰

Table 3에서 Daegu Obs. 강우량과 Lee Type의 강우량 비교를 해 보면, 24일 01:00에서는 Daegu Obs.는 강우가 측정되지 않았으나 Lee Type에서는 0.27 mm가 내린 것으로 기록되었으며, 25일 06:00 시에서도 Daegu Obs.에서 강우를 관측하지 못했으나, Lee Type에서는 0.29 mm의 강우가 내린 것으로 기록이 되었다. 이런 경우는 전도형 우량계가 가지는 기계 구조적인 특징과 기존 전도형 우량계에는 이 물질이 들어가는 것을 막기 위한 철망 있어서 철망에 묻은 강우가 대기로 증발한 경우와 0.1 mm 또는 0.5 mm이하가 되는 경우는 감지를 못하기 때문으로 생각된다.

이 결과에서 Lee type은 기존전도형 우량계가 관측을 하지 못하는 0.1 mm 이하의 강우 관측이 가능하다는 것을 알 수 있었다.

오차가 가장 큰 시각은 24일 13시와 25일 01시로 1.20 mm, -1.11 mm를 나타내었다. 그 외의 시각에서는 비교적 적은 차이의 값만을 나타내어 기존의 전도형 우량계와 호환성이 뛰어난 것으로 사료되었다.

이러한 경향성은 측정원리 차이에 의한 계통오차로 계속적인 연구로 오차의 범위를 더 줄일 필요성이 있다고 판단된다. 또한 수위를 측정하는 원리도 인해 순간적인 많은 강우에도 오차가 적을 수 있음을 알 수 있었다.

Fig. 4는 Lee Type에 의해 관측된 1분 강우량을

우량계 개발과 측정 오차

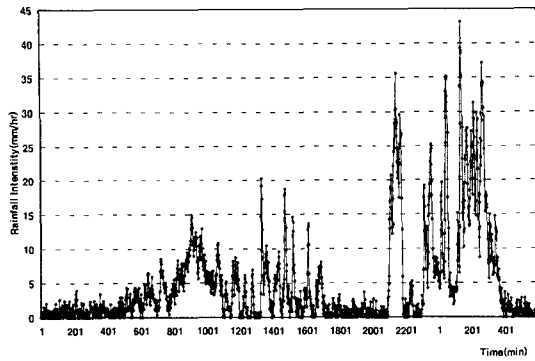


Fig. 4. Distribution of the rainfall intensity during 24~25 June, 2001(Lee Type).

시간당 강우량인 강우강도를 나타낸 그림으로, 자료의 계산은 매 1분 간 마다 측정된 수심으로부터 그 차이를 구하여 1분 강우량 값을 구하고, 이 값에 60을 곱하여 시간당 강우강도를 산출하였다.

관측기간 중 시간당 강우의 최대 값은 약 43 mm/hour가 되었으며, 대부분의 경우 10 mm/hour 이하였다. 강우강도를 산출한 자료 중 일부 자료에서는 (-) 값이 나오기도 하였는데, 이는 수심 측정 정확도의 한계와 필드에서 발생하는 여러 가지 형태의 노이즈에 의해 발생한 오차로 생각되었다.

1분 강우량 값에서 계산된 강우의 (-) 값은 전부 25.75 mm로 전체 강우량 147.5 mm의 17%에 해당하는 오차가 발생하였다. 이 값은 기기의 성능 개선을 통해 오차를 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

정확하게 제작되면 (-) 값이 없는 것이 당연하지만 측정의 원리에 있어, 기존의 물방울 수를 헤아리는 강우강도계와는 다른 부력측정 원리로 인하여 필연적으로 나타날 수 있는 오차로 이러한 값의 제거는 필터 프로그램과 측정범위를 줄이는 과정을 통해 해결이 가능할 것으로 생각된다.

Fig. 5는 06월 24일부터 06월 25일 관측기간 중 1분 강우 관측 기록 자료의 (-) 값 개수의 값의 분포를 나타낸 것이다. 전체 자료 1800분에 해당하는 1800개중 (-) 값으로 기록된 data의 수는 476개이며, 개수로는 전체 자료의 26%에 해당하는 값이었다.

그리고 (-) 값의 총 강우량은 25.27 mm로 오차 백분율로 17%로 나왔다. 이는 현재 사용중인 강우강도계의 허용오차범위 20%보다 작은 값이다.

분당 강우 오차 값을 보면 오차의 범위가 0.1 mm 미만에 해당하는 값은 전체의 90.8%로, 0.1 mm 이상은 9.2%가 나왔다. 이 오차는 최대 측정범위의 조절과 지속적인 연구를 통해 오차를 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

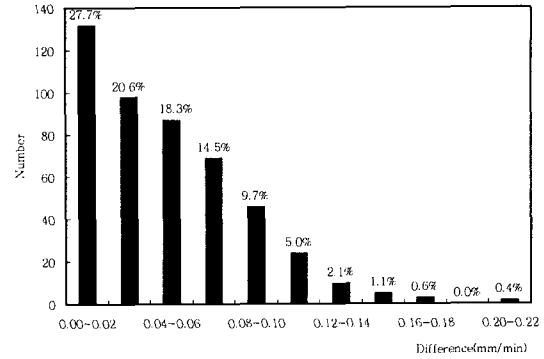


Fig. 5. Distribution of the one minute rainfall error number of Lee Type.

따라서 본 연구에서 개발된 우량계는 사계절 우량관측자동화와 강우강도계를 대체할 수 있는 장비로 충분한 가능성을 가지고 있음을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서 개발된 우량계는 현업우량계로 적용해도 문제점이 없는 것으로 생각되며, 또한 성능도 현재 사용중인 전도형 우량계와 관측 호환성이 뛰어나 관측에 사용함에 성능상 문제점이 없는 것으로 사료되었다.

그리고 야외 비교 관측에서도 우수한 성능으로 자동관측을 수행하여 WMO의 권고 측정 분해능인 0.1 mm 이하의 분해능으로 1분 단위의 우량관측이 가능하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 철망이 필요 없는 부력 측정원리의 Lee Type은 기존의 우량계보다 빠르게 초기 강우를 기록할 수 있는 장점이 있다.
- 2) 기존의 우량계가 갖지 못하는 높은 정밀도인 0.1 mm 이하의 강우량 측정과 실시간으로 강우강도 측정으로 이와 관련된 레이더, 위성을 통한 상대적인 강우측정 분야 연구에서 정확한 지상 관측 Data 제공해 줄 수 있다.
- 3) 동절기에 액체상태를 유지할 수 있는 부동액을 사용하면 우량관측의 사계절 자동화를 기대할 수 있다.
- 4) 앞으로 오차를 줄이고 높은 분해능을 가지는 우량계의 계속적인 연구와 개발이 필요하다.

참 고 문 헌

- 1) 건설교통부, 2000, 한국하천일람, 12pp.
- 2) 한국수자원 공사 홈페이지, <http://www.kowaco.or.kr>
- 3) Wada, 1911, Korean Meteorological Observatory

- Quart, J. Roy. Meteorol. Soc., 37, 83-86.
- 4) 이부용, 1999, 측정 분해능이 0.1mm인 우량계의 개발에 관한 연구, 한국환경과학회지, 8(4), 419-422.
 - 5) 한국전자통신연구원, 1998, 위성통신 강우환경 분석기술 연구, 한국전자통신연구원 연차보고서, 120pp.
 - 6) M. Leroy, 2000, Calibration and Control Methods for Tipping-Bucket raingauges, Instruments and Observing Methods Report No. 74, 92-95.
 - 7) 이부용, 1998, 증발 기록계 개발에 관한 연구, 대구효성가톨릭대학교 연구논집, 57, 239-243.
 - 8) 이부용, 박병윤, 1997, 0.1mm급 우량계 개발에 관한 연구(LOAD CELL 특성에 관하여), 대구가톨릭대학교 응용과학연구소논문집, 5, 93-97.